

## АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

В.В. Бороноев, Б.З. Гармаев, В.Д. Омпоков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН  
Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

*В статье проанализированы и оценены диагностические возможности дифференциально-интегральных преобразований (ДИП) модельных сигналов. Показано, что эти отношения зависят от величины интервала вычислений (времени интегрирования), а не от формы сигнала. Поэтому говорить о соответствии углов наклона кривых, образованных параметрами ДИП, и их диагностической значимости применительно к выделению различных физических процессов не представляется возможным.*

*Ключевые слова: кратные интегралы, дифференциально-интегральные преобразования, модельные сигналы.*

## DIFFERENTIAL AND INTEGRAL TRANSFORMATIONS OF TEST SIGNALS

V.V. Boronoyev, B.Z. Garmaev, V.D. Ompokov

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, Russia, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

*The paper analyzes and evaluates the diagnostic capabilities of the differential and integral transformations (DIT) of the test signals. It is shown that these relations depend on the calculation interval (integration time) but not on the signal waveform. That is why the speculation of the diagnostic capability of the curve slope angle formed by the DIT parameters is not substantiated.*

*Keywords: multiple integrals, differential and integral transformations, test signals*

### Введение

Обнаружение и идентификация сигналов является одной из актуальных задач радиолокации. Поиски эффективных алгоритмов решения такой задачи продолжают до настоящего времени.

В [1] предложен метод обнаружения и идентификации сигналов, в основу которого положены результаты исследований и «применения дифференциально-интегральных преобразований к модельным сигналам: синусоидальному, треугольному, прямоугольному, шумовым с равномерным и нормальным распределением, амплитудно- и частотно-модулированному. Показано, что эти отношения зависят от параметров сигналов и отличаются для синусоидальных, модулированных и шумовых сигналов, что может быть использовано для их обнаружения и идентификации». В [1] в качестве диагностического параметра выделения различных процессов предлагается использовать угол наклона линий, образованных коэффициентами ДИП модельных сигналов.

Метод дифференциально-интегральных преобразований (ДИП) представляет собой [2] «вычисление мощности (дисперсии) последовательно продифференцированными или проинтегрированными реализациями сигнала и расчет отношения между ними. В результате получается ряд данных, включающий отношение мощности (дисперсии) первой производной

к мощности (дисперсии) второй производной ( $ДК_1$ ); отношение дисперсии пульса к дисперсии первой производной пульса (так называемый «дифференциальный» коэффициент ( $ДК=ИК_0$ ); отношение дисперсии первого интеграла пульсовой кривой к дисперсии исходного пульса ( $ИК_1$ ) ... и так далее, до отношения дисперсии пятерного интеграла к дисперсии четвертого интеграла ( $ИК_5$ )»).

Сравнительная оценка этих отношений от второй производной до пятикратного интеграла, т.е. дифференциально-интегральные преобразования применительно, например, к сигналу пульса проведена ранее в работах [2,3]. Однако выводы работ [2,3] относительно применимости метода ДИП в диагностических целях для проведения диагностики состояния организма человека не нашли своего подтверждения в [4,5].

Из вышесказанного следует, что предложенный в [1] метод дифференциально-интегрального преобразования сигналов, предназначенный для обнаружения и идентификации сигналов разной формы, требует дополнительного исследования. Это связано с тем, что угол наклона кривых, образованных коэффициентами ДИП модельных сигналов, напрямую зависит от величины абсолютных значений параметров  $ДК_0$  и  $ИК_{1-5}$ , которые, в свою очередь, зависят от длины реализации исследуемого процесса (времени интегрирования).

#### Методика и результаты

Алгоритм расчета параметров ДИП исследуемых модельных сигналов, а именно  $ДК_1$ ,  $ДК=ИК_0$ , и  $ИК_1 - ИК_5$ , и его недостатки (на примере пульсовых сигналов) подробно исследованы и представлены в [4,5]. Ниже рассмотрим дифференциально-интегральные преобразования на примере модельных сигналов.

Вначале рассмотрим возможность обнаружения и выделения сигналов по углу наклона кривых, образованных рассчитанными значениями отношений дисперсий ИК кратных интегралов (дифференциалов)  $ДК_1$ ,  $ДК=ИК_0$ ,  $ИК_1$ , ...  $ИК_5$ , на примере модельных сигналов [1]. Для этого рассчитаем, аналогично [1], коэффициенты ДИП для 5 реализаций модельных сигналов разной формы: синусоиды, сигнала треугольной формы, меандра, случайного сигнала с равномерным распределением амплитуд и случайного сигнала с нормальным распределением амплитуд. Условия численного эксперимента те же, что и в [1]: частота дискретизации 100 Гц, интервал вычисления 5000 дискретных отсчетов ( $T=50$  сек), дисперсии исходных сигналов равны 1.

Результаты расчетов коэффициентов ДИП для модельных сигналов ( $T=50$  сек) в зависимости от кратности преобразования аналогичны [1] и представлены на рис. 1 в логарифмическом масштабе. Здесь по оси абсцисс отложены соответствующие кратности интегрирования (дифференцирования)  $ДК_1$ ,  $ДК=ИК_0$ ,  $ИК_1$ , ...  $ИК_5$ , а по оси ординат – коэффициенты преобразований ИК.

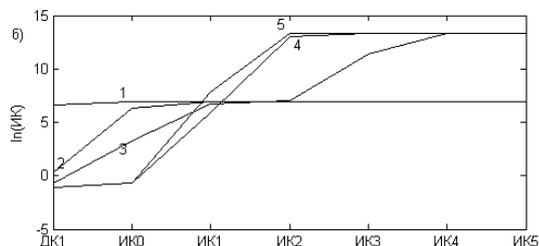


Рис. 1. Значения ДИП для модельных сигналов в логарифмическом масштабе. 1 – синусоида, 2 – сигнал треугольной формы, 3 – меандр, 4 – случайный сигнал с равномерным распределением амплитуд, 5 – случайный сигнал с нормальным распределением амплитуд

Видно, что шумовые (случайные) сигналы и периодические сигналы, за исключением меандра, значительно отличаются друг от друга. При этом кривые, сформированные коэффициентами ДИП синусоидального и треугольного сигналов, практически не различимы на графике, поскольку как и в [1] формируют горизонтальную линию. Отличие

заключается в величине разброса вычисленных значений параметра ИК, которые достигают значений  $6 \cdot 10^5$ .

Насколько угол наклона сформированных кривых эффективен для распознавания сигналов разной формы, рассмотрим на примере единичного сигнала прямоугольной формы с разной скважностью, представленного на рис. 2. Интервал вычисления 100 дискретных отсчетов ( $T = 1$  сек).

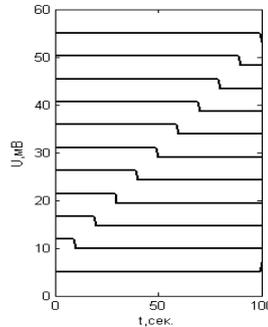


Рис. 2. Один период прямоугольного сигнала при разных коэффициентах заполнения (от 0 до 1 с шагом 0,1 снизу вверх)

Графики изменения коэффициентов ДИП для одного периода длительностью 1 сек при разных коэффициентах заполнения представлены на рис. 3а. Аналогичная [1] зависимость от отношения длительности прямоугольного сигнала к периоду повторения (отношение обратное скважности) представлена на рис. 3б. Из рис. 3а видно, что кривые имеют разные углы наклона:

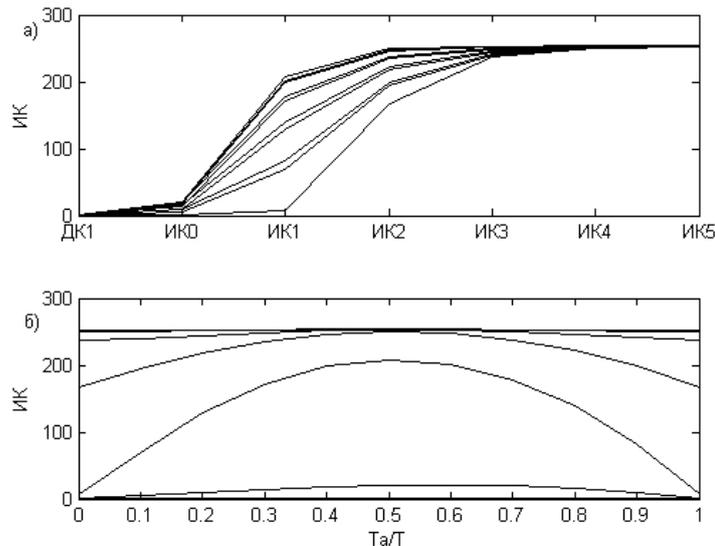


Рис. 3. а) Значения ДИП для одного периода прямоугольного сигнала с разными коэффициентами заполнения; б) Зависимость значений ДИП одного периода прямоугольного сигнала от коэффициента заполнения

Сравним теперь углы наклона кривых, образованных коэффициентами ДИП меандра для разных интервалов вычислений, равных 50 сек (кривая 3 на рис. 1а) и 1 сек (кривая 6 снизу на рис. 3а). Из рисунков видно явное не соответствие этих углов между собой. Углы наклона зависят от величины интервала вычислений (времени интегрирования). При этом, например, значение параметра  $ИК_5$  в первом случае равно примерно  $6 \cdot 10^5$ , в то время как этот же параметр во втором случае равен 255.

Представленные на рис. 3б результаты расчетов коэффициентов ДИП прямоугольных сигналов с разными коэффициентами заполнения полностью совпадают с результатами расчетов, приведенными в работе [1]. Это свидетельствует об идентичности с [1] алгоритмов расчета исследуемых параметров модельных сигналов. Однако в решение поставленной в [1]

задачи обнаружения и идентификации сигналов разной формы существенного вклада не вносит.

Проведем аналогичные численные расчеты не для одного, а нескольких прямоугольных сигналов с разными коэффициентами заполнения. Графики изменения коэффициентов ДИП для четырех периодов прямоугольных сигналов с разными коэффициентами заполнения представлены на рис. 4а. Аналогичные графики зависимости коэффициентов ДИП от отношения длительности прямоугольного сигнала к периоду повторения (отношение обратное скважности) представлена на рис. 4б.

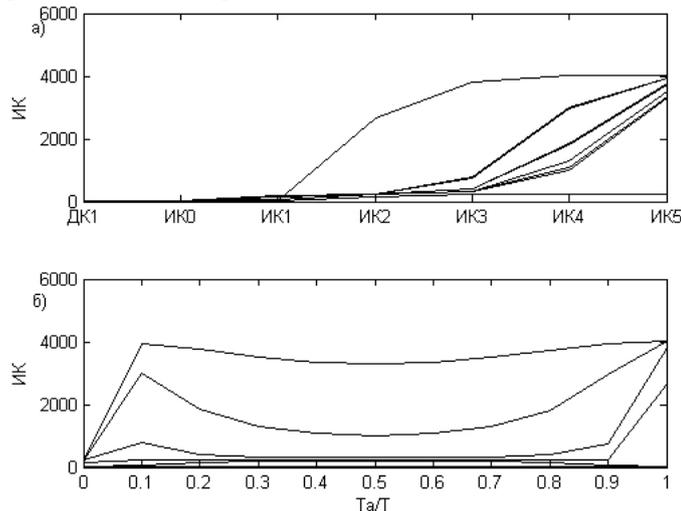


Рис. 4. а) Значения ДИП для нескольких периодов прямоугольного сигнала с разными коэффициентами заполнения; б) Зависимость значений ДИП нескольких периодов прямоугольного сигнала от коэффициента заполнения.

Из результатов численного расчета, представленного на рис. 4а, видно, что углы наклона кривых, образованных коэффициентами преобразований ИК прямоугольных сигналов с разными коэффициентами заполнения, имеют резко отличную от рис. 3а картину. Поэтому говорить о соответствии углов наклона кривых, представленных на рис. 3а и рис. 4а, и их диагностической ценности применительно к выделению различных процессов не представляется возможным. Это связано с тем, что углы наклона образованных кривых имеют различные значения и, как следствие, приведенные кривые имеют резко отличный друг от друга вид.

Представленные на рис. 4б графики поведения коэффициентов ДИП нескольких прямоугольных сигналов с разными коэффициентами заполнения существенным образом отличаются от аналогичных расчетов для одного прямоугольного сигнала (рис. 3а). Полученный результат также косвенно свидетельствует о том, что в решение поставленной в [1] задачи обнаружения и идентификации сигналов разной формы существенного вклада не вносит. Этот же вывод следует и из результатов анализа модельных сигналов при разных отношениях периодов этих сигналов к длине реализации.

#### Выводы

На основе проведенных исследований метода дифференциально-интегральных преобразований модельных сигналов, предназначенного для их обнаружения и идентификации, можно сделать следующие выводы:

1. Абсолютные значения интегральных коэффициентов ИК рассмотренных модельных сигналов равной длины, но разной формы для высоких кратностей интегрирования ИК<sub>5</sub> совпадают между собой. Это свидетельствует об абсолютной нечувствительности метода дифференциально-интегральных преобразований к форме исходных сигналов.

2. Показано, что углы наклона кривых, образованных коэффициентами преобразований ИК модельных сигналов, рассчитанные для соответствующих кратностей интегрирования

(дифференцирования)  $ДК_1$ ,  $ДК=ИК_0$ ,  $ИК_1$ , ...  $ИК_5$ , имеют разный вид сформированных кривых, и, как следствие, разные по абсолютной величине углы наклона кривых.

3. На примере сравнения углов наклона кривых, образованных коэффициентами преобразований ИК меандра с разными коэффициентами заполнения и различными интервалами вычислений, равными 50 сек и 1 сек, показано явное не соответствие этих углов между собой. Отмечено, что углы наклона зависят от величины интервала вычислений (времени интегрирования), а не от формы сигнала. Поэтому говорить о соответствии углов наклона кривых и их диагностической значимости применительно к выделению различных процессов не представляется возможным.

#### Библиографические ссылки

1. Дудин С.А. Дифференциально-интегральные преобразования модельных сигналов // Радиотехника. – 2011. № 6. – С. 37-41.
2. Дудин С.А., Занданова Г.И. Сравнительная оценка дифференциально-интегральных преобразований пульса // Естественные и технические науки. – 2010. № 2. – С. 80-84.
3. Дудин С.А. Дифференциально-интегральный метод анализа сигналов // Материалы III Евразийского конгресса по медицинской физике и инженерии «Медфизика-2010». М.:МГУ. – 2010. Ч.4. 311 с.
4. Бороноев В.В., Гармаев Б.З., Омпоков В.Д. К вопросу о сравнительной оценке дифференциально-интегральных преобразований пульсового сигнала // Естественные и технические науки. 2012, № 5 (61). - С. 365-369.
5. Бороноев В.В., Гармаев Б.З., Омпоков В.Д. Сравнительный анализ дифференциально-интегральных преобразований пульсовых сигналов // Вестник БНЦ СО РАН. 2012, № 4 (8). – С. 197-211.

#### References

1. Dudin S.A. Differentsialno-integralnie preobrazovaniya modelnyh signalov. Radiotekhnika. 2011. № 6. С. 37-41.
2. Dudin S.A., Zandanova G.I. Sravnitel'naya otsenka differentsialno-integralnyh preobrazovaniy pulsa. Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2010. № 2. С. 80-84.
3. Dudin S.A. Differentsialno-integralniy metod analiza signalov. Materialy III Evraziyskogo kongressa po medicinskoi fizike i inzhenerii Medphizika 2010, M: MGU. 2010. ch.4, 311 s.
4. Boronoev V.V., Garmaev B.Z., Ompokov V.D. K voprosu o sravnitel'noi otsenke differentsialno-integralnih preobrazovaniy pulsovogo signala. Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2012. № 5 (61). С. 365-369.
5. Boronoev V.V., Garmaev B.Z., Ompokov V.D. Sravnitel'niy analiz differentsialno-integralnih preobrazovaniy pulsovih signalov. Vestnik BNC SO RAN. 2012. № 4 (8). С. 197-211.

**Бороньев Виталий Васильевич** – д.т.н., профессор, зав.лаб., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: vboronoyev2001@mail.ru.

**Гармаев Баир Заятуевич**, н.с., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: bair.garmaev@gmail.com.

**Омпоков Вячеслав Дамдинович**, н.с., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: slvd@mail.ru.

**Boronoyev Vitaliy Vasilievich**, doctor of engineering, professor, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Garmaev Bair Zayatuevich**, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the RAS.

**Ompokov Vyacheslav Damdinovich**, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.